

ГЛАВА X

РЕКТИФИКАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Спирт-сырец, полученный при перегонке бражки на браго-перегонных аппаратах, не является еще чистым этиловым спиртом. В табл. X—1 приводятся данные о среднем составе спирта-сырца [1].

Таблица X-1

Состав спирта-сырца различного происхождения

Происхождение сырца	Кре- пость, % об.	Кислоты (на уксу- сную)	Эфиры (на уксусно- этиловый)	Альдегиды, % об.	Сивушное масло, % мас.	Проба Ланга, сек
		мг/л безводного спирта		на безводный спирт		
Зерно-картофельный (средних качеств)	88—89	13,5—25	280—350	0,004—0,008	0,32—0,43	90
Смешанные зерно- меласные и ме- ласные выше среднего качества (I гр.)	87—88	25—30	350—500	0,008—0,012	0,32—0,43	90—210
Меласные среднего качества (II гр.)	86—87	30—40	500—700	0,012—0,048	0,32—0,48	15—90
Меласные ниже среднего качества (III гр.)	84—85	40—60 и выше	700—950	0,12—0,25	0,32—0,43	Ниже 15

Спирт-сырец содержит значительное количество примесей, которые должны быть удалены в процессе ректификации для получения стандартного ректифицированного этилового спирта.

Ректификационные аппараты служат для выделения из сырца примесей, причем в достаточно концентрированном виде, чтобы с ними не терялся этиловый спирт.

Аппараты для ректификации спирта могут быть разделены на две группы: аппараты периодического действия (кубовые) и аппараты непрерывного действия.

Кубовые ректификационные аппараты с колоннами были предшественниками ректификационных аппаратов непрерывного действия. После появления аппаратов непрерывного действия начался процесс вытеснения их из производства этим, более прогрессивным типом аппарата, который, однако, не закончен и до настоящего времени. В промышленности Советского Союза работает сейчас значительное количество аппаратов периодического действия.

Исследованиями, проведенными во ВНИИСПе, значительно усовершенствован процесс ректификации на периодически действующих кубовых аппаратах, что позволило повысить их эффективность [2].

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Процесс периодической ректификации имеет некоторые особенности, на которых необходимо предварительно остановиться. Простейший периодически действующий перегонный аппарат — это кубовый аппарат без колонны и дефлегматора. Перегонка в таком кубе не дает возможности получить дистиллят с высоким содержанием спирта. Для того чтобы получить высокие концентрации спирта в дистилляте, куб снабжают многотарелочной колонной и дефлегматором.

В случае перегонки бинарной смеси, не содержащей примесей, работа такого ректификационного аппарата преследует цель — получить дистиллят с высоким содержанием нижекипящего компонента.

В этом случае возможны несколько вариантов работы. Так, если желают в течение всей сгонки получать дистиллят постоянной крепости, то необходимо непрерывно увеличивать флегмовое число, чтобы компенсировать влияние уменьшающейся концентрации этилового спирта в кубе [3].

Схема такого процесса изображена на рис. X—I. На этом графике показан ход процесса перегонки, при котором крепость дистиллята x_D остается постоянной в течение всей сгонки, но по мере уменьшения содержания спирта в жидкости, находящейся в кубе (в навалке), увеличивается флегмовое число. Следует иметь в виду, что построение сделано для $v_{\min}$. Так как $v = f/D$, где f — количество флегмы, а D — количество дистиллята, то можно увеличить v тремя способами: 1) увеличивая f , 2) уменьшая D , 3) увеличивая f и одновременно уменьшая D . Первый случай практически мало применим, так как требует весьма большой резервной поверхности дефлегматора, второй и третий ведут к понижению производительности аппарата по мере сгонки.

Рассмотрим метод нахождения среднего флегмового числа за все время перегонки с меняющимся флегмовым числом.

На рис. X—1 приведено построение рабочих линий для ряда последовательных моментов перегонки. Все эти точки выходят из точки L на диагонали графика, лежащей на перпендикуляре, восстановленном из точки x_D на оси абсцисс.

Измеряя для каждой из этих линий отрезок B на оси ординат, можно определить для каждой из них v . Очевидно, что $v=f(x)$, где x — переменное содержание н.к. в кубе. За некоторый бесконечно малый промежуток времени, за который отгоняется бесконечное малое количество дистиллята dD , отбирается флегмы $df=vdD$.

Здесь $v=f(x)=f(D)$, т. е. v изменяется по мере уменьшения содержания н.к. в кубе и возрастания количества дистиллята.

Проинтегрируем написанное выше уравнение в пределах от 0 до f_1 (левая часть уравнения) и от 0 до D_1 (правая часть уравнения). Здесь f_1 — общее количество флегмы за весь период сгонки, а D_1 — количество дистиллята за тот же период. Мы получим:

$$\int_0^{f_1} df = \int_0^{D_1} vdD.$$

Отсюда

$$f_1 = \int_0^{D_1} f(D) dD.$$

В этом уравнении в правой части написан интеграл, который может быть определен графическим интегрированием (рис. X—2).

На горизонтальной оси отложено значение D_1 , которое на каждый данный момент может быть найдено из уравнения:

$$Da_D + a_R(M - D) = Ma_M.$$

В этом уравнении D — количество дистиллята, отобранное на данный момент, кг; M — количество навалки, кг; a_D , a_R , a_M — содержание н.к. в дистилляте, остатке в кубе и в первоначальной навалке, % мас.

Задаваясь величиной a_R , мы можем найти по графику рис. (X—1) величину v , а по уравнению, написанному выше, —

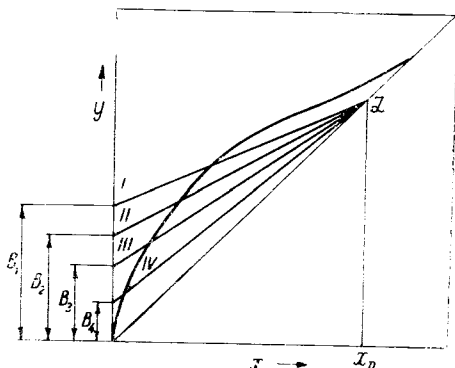


Рис. X-1. Процесс перегонки при постоянном x_D .

величину D . Эти значения v и D дадут нам точку на рис. X—2. Построив ряд точек, проведем кривую, изображенную на рис. X—2. Средняя высота заштрихованной фигуры будет $v_{\text{ср}}$ за все время перегонки. Все количество флегмы $f_1 = v_{\text{ср}} D_1$.

На рис. X—3 показан другой возможный случай, когда v остается постоянной величиной в процессе перегонки. В этом

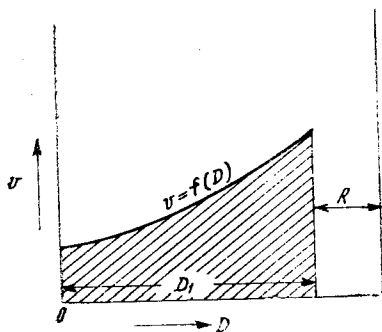


Рис. X-2. Определение среднего значения v для периодически действующего ректификационного аппарата.

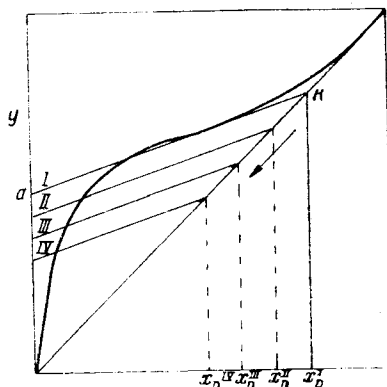


Рис. X-3. Изображение процесса перегонки при постоянном флегмовом числе v .

случае по мере уменьшения в навалке спирта происходит уменьшение содержания спирта и в дистилляте. Рабочая линия скользит вниз, оставаясь параллельной своему первоначальному положению.

В этом случае только первые порции дистиллята будут иметь крепость, равную x_D . Практически сгонка идет при комбинированном использовании того и другого варианта. Рис. X—3 позволяет сделать еще один интересный вывод, связанный со своеобразным (седлообразным) видом кривой равновесных концентраций бинарной смеси этиловый спирт—вода. Основным условием возможности перегонки является то, что рабочая линия проходит ниже кривой равновесия. Вследствие седлообразного выгиба это не всегда возможно и рабочая линия Ka не будет отвечать реальному случаю перегонки. Таким образом, минимальное флегмовое число для перегонки водно-спиртовых растворов можно получить, проводя внутреннюю касательную из точки K к кривой равновесных концентраций. Киров [4], который обратил внимание на это обстоятельство, нашел следующие минимальные значения флегмового числа при различных крепостях дистиллята (табл. X—2).

Т а б л и ц а X-2

Минимальное значение флегмового числа

Флегмовое число	Крепость дистиллята, %		
	объемные	массовые	молярные
2,0	95	92,46	82,77
2,2	96	93,89	85,74
∞	97,2	95,57	89,41

Таким образом, при стандартной крепости ректификата минимум начального флегмового числа будет 2,2. При дальнейшем увеличении крепости дистиллята флегмовое число быстро возрастает, а следовательно, возрастает и расход тепла на перегонку.

Это указывает на то, что при ректификации не следует стремиться к получению предельно высоких крепостей дистиллята.

Рассмотренные нами явления при проведении ректификации на практике осложняются наличием примесей, которые движутся в колонне одновременно с водой и этиловым спиртом.

В колонне идет сложный нестационарный процесс. Основой его является описанная выше перегонка бинарной смеси вода — этиловый спирт. На тарелках колонны при заполнении их флегмой устанавливается некоторая концентрация спирта, которая непрерывно изменяется по мере хода сгонки. При этом, разумеется, наибольшая концентрация этилового спирта будет на верхних тарелках колонны. Параллельно с этим процессом идет выделение примесей различного характера, которые ведут себя различно в зависимости от величины коэффициентов их испарения и ректификации.

Головные примеси в начале перегонки образуют основную массу паров, которые поднимаются в колонне, так как коэффициент их испарения больше единицы при всех крепостях этилового спирта на тарелках. Вследствие большой летучести эти примеси выделяются в первый период перегонки. Что касается хвостовых примесей, то они поднимаются в колонне, но будут задерживаться жидкостью на тарелках с высокой концентрацией спирта. До тех пор, пока крепость велика, примеси этого рода не смогут подниматься в верхнюю часть колонны. Но по мере хода сгонки, когда крепость на тарелках будет падать, хвостовые примеси будут подниматься на верхние тарелки и в дефлегматор. До наступления этого момента в фонарь поступает спирт, не содержащий хвостовых примесей и освобожденный ранее от головных примесей. Это будет наиболее чистый продукт, который должен отвечать требованиям стандарта.

§ 2. АППАРАТ ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

Аппарат этого типа (рис. X—4) состоит из куба 1 с трубчатыми нагревательными элементами, ректификационной колонны 2, дефлегматора 3, холодильника 4 и сортировочного фонаря 5. Навалка в кубе нагревается паром, поступающим в на-

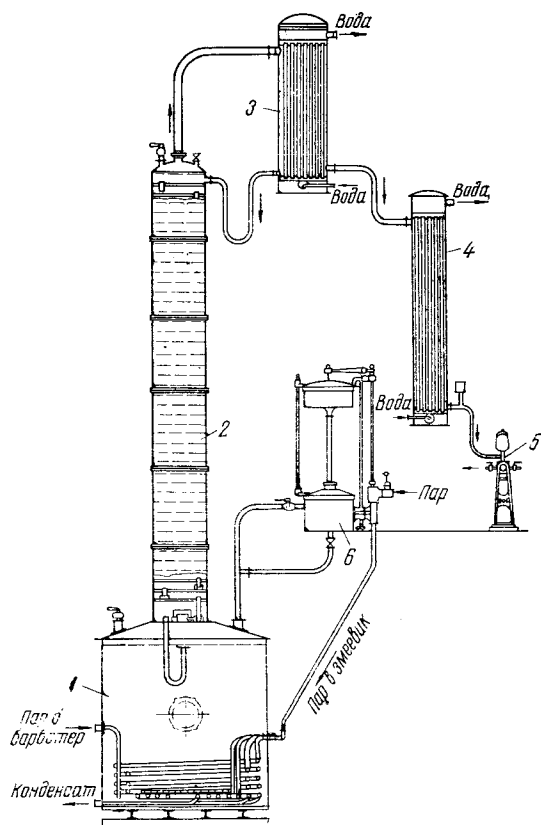


Рис. X-4. Ректификационный аппарат периодического действия:

1 — куб аппарата, 2 — ректификационная колонна, 3 — дефлегматор, 4 — холодильник, 5 — сортировочный фонарь, 6 — паровой манометрический регулятор.

гревательный элемент. Подача пара регулируется манометрическим регулятором 6. Кроме того, куб снабжен барботером для ввода в навалку открытого пара. При работе по единому методу установка оснащается дополнительным оборудованием, о котором будет сказано в дальнейшем. Ректификационная колонна аппарата имеет ситчатые или колпачковые тарелки. Чис-

до их колеблется от 36 до 60. Дефлегматоры ректификационных аппаратов конструировались ранее как вертикальные кожухотрубные теплообменники. В современных аппаратах устанавливаются горизонтальные дефлегматоры. Нагревательные элементы конструируются из пучка U-образных труб, вставленных в куб.

§ 3. МЕТОДЫ РЕКТИФИКАЦИИ НА ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕЙСТВУЮЩЕМ АППАРАТЕ [2]

В процессе развития методов очистки спирта были предложены различные способы ведения ректификации на периодически действующих кубовых аппаратах. Многие из них в настоящее время утратили практическое значение. К таким методам относится метод одинарных слабых и одинарных крепких навалок. Первый из них, исторически один из самых ранних, предусматривал разбавление сырца водой до крепости 40—45% об. и фильтрацию его через древесный уголь. Эта операция преследовала цель облегчить выделение примесей. Не приходится говорить, что такая операция с точки зрения экономики нецелесообразна. При использовании метода крепких навалок не прибегают к предварительному разбавлению сырца и фильтрации через уголь, так как опыт показал, что современные ректификационные колонны хорошо справляются с выделением примесей и без разбавления сырца водой. Как при том, так и при другом способе работы рабочий цикл аппарата состоит из следующих операций: наполнения куба, нагревания навалки до кипения, сгонки, опоражнивания аппарата и его очистки.

Так как цикл включает только одно наполнение, то оба метода носят название одинарных, в отличие от метода сложных навалок, при котором в цикл включается несколько последовательных навалок сырца.

Оба метода навалок в настоящее время не применяются, так как они технически устарели и экономически невыгодны.

Однако для лучшего понимания современных методов ректификации необходимо ознакомиться с методом одинарных крепких навалок, из которого развились современные способы.

Метод одинарных крепких навалок

После того как навалка, спускаемая в куб, покрывает паровой барботер и змеевик, через них начинают подавать греющий пар. Вследствие энергичного перемешивания открытым паром нагревание навалки идет интенсивно, и через полчаса—час после ее спуска колонна аппарата начинает нагреваться. Еще до нагрева колонны дефлегматор и холодильник наполняют водой, но краны для холодной воды остаются закрытыми до по-

ступления паров в дефлегматор. Сгонка начинается концентрированием головных примесей, что достигается при помощи операции, называемой замедленной сгонкой, или задержкой.

Эта операция заключается в том, что при нормальном впуске пара в куб на дефлегматор подают такое количество охлаждающей воды, при котором все (или почти все) пары возвращаются в колонну в виде флегмы. Очевидно, в этот момент колонна работает с флегмовым числом, равным бесконечности ($v = \infty$, так как $D = 0$). Такая задержка выдачи продукта приводит к тому, что головные примеси заполняют колонну и концентрируются на ее верхних тарелках. Кроме того, задержка увеличивает концентрацию спирта на тарелках колонны, в результате чего создается препятствие к поднятию хвостовых примесей к верху колонны. Задержка спирта продолжается от 1,5 до 3 ч в зависимости от качества спирта. При этом большое значение имеет температура, с которой погон поступает обратно в колонну. Рекомендуется не охлаждать погон ниже 50—65° С, так как охлажденный погон нарушит работу колонны, сконденсировав значительное количество паров в колонне и понизив в ней давление. При переохлажденном погоне потребуются много времени для нагрева его до температуры кипения, только после чего пары головных продуктов пойдут на холодильник. К концу этого периода, когда почти все головные примеси удалены из куба, подача воды из дефлегматора уменьшается, вместе с тем уменьшается и флегмовое число; на фонарь быстро начинает поступать эфирно-альдегидная фракция. Эта операция получила название выбрасывания. Работа с флегмовым числом, равным бесконечности, в самом начале сгонки имеет еще и другое значение: укрепляющий эффект тарелок при этих условиях максимален, благодаря чему они работают с наибольшим эффектом.

Однако по мере сгонки содержание спирта в кубе уменьшается; для того чтобы не уменьшалась крепость ректификата, флегмовое число увеличивают путем большей подачи воды на дефлегматор или уменьшения подачи пара в аппарат. Поэтому к концу отбора первого сорта производительность снижается до 70—60% от максимальной.

Когда анализ и органолептические испытания покажут, что в дистилляте появились хвостовые продукты, переходят на отбор второго концевого сорта. При отборе этого сорта происходит дальнейшее уменьшение крепости жидкости в кубе, что приводит к понижению крепости дистиллята. При сгонке второго концевого сорта крепость дистиллята понижается до 85%, а при отборе третьего сорта — до 80% об. Когда температура кипения в кубе станет равной 101—103° С, в фонарь начинает поступать фракция, содержащая сивушное масло; эту фракцию

направляют в сивухопромыватель. Сгонку заканчивают, когда крепость дистиллята в фонаре составит 2% об. В этот момент содержание спирта в кубе практически равно нулю.

По окончании сгонки прекращают доступ пара в куб и спускают из куба оставшуюся жидкость. Регулировка работы аппарата сводится к изменению количества пара, подаваемого в куб, и воды, подаваемой на дефлегматор. Количество пара практически остается постоянным во все время сгонки. Поэтому основной задачей является изменение подачи воды на дефлегматор или, что то же, изменение флегмового числа.

Принцип метода сложных крепких навалок

Этот метод представляет собой дальнейшее развитие метода крепких одинарных навалок. Он заключается в том, что после удаления приблизительно 85—90% спирта от содержания его в навалке сгонку останавливают на короткий период, куб вновь наполняют сырцом и начинают ректификацию обычным способом.

Таким образом куб можно наполнять несколько раз, пока поступающий спирт не будет слишком разбавляться остатками от предыдущей сгонки и содержание сивушного масла в кубе не станет слишком высоким.

Так, при шести наполнениях последняя навалка имела бы крепость около 60% об. Содержание сивушного масла в шестой навалке было бы около 3% об. вместо 0,4%, как в первой. Поэтому практически при работе по методу сложных крепких навалок применяют не более трех навалок.

Метод сложных крепких навалок более экономичен в отношении расхода тепла, чем метод простых навалок. Он увеличивает выход I сорта и позволяет получить сивушное масло стандартного качества.

К. А. Калунянц [5] указал еще на одно существенное преимущество крепких навалок. Исследуя образование в процессе ректификации эфиров, он установил, что на этот процесс оказывает существенное влияние крепость спирто-водной смеси. В опытах К. А. Калунянца перегонке подвергали водно-спиртовые смеси крепостью 9,9; 49,8 и 88,1% об. Исследования показали, что при перегонке водно-спиртовой смеси крепостью 88,1% об. потеря кислот (идущих на образование эфиров) почти в 2,5 раза меньше, чем при перегонке смеси, содержащей 9,9% об. спирта. Это свидетельствует о том, что для устранения образования новых эфиров в процессе периодической ректификации следует предпочитать метод крепких навалок [5].

Эффективность метода сложных крепких навалок еще более повышается при комбинировании его с особым приемом переработки II и III сортов на ходу аппарата, путем ввода их в колонну.

Метод переработки II и III сортов

Ранее при переработке методом одинарных навалок II и III сорта собирали отдельно. Вторые сорта сгоняли с сырцом, а третьи утилизировали для денатурации спирта или перегоняли отдельно от сырца, что требовало установки отдельного аппарата для их переработки, увеличивало расход топлива и т. п. Значительно более эффективным оказалось предложение вводить низшие сорта, не смешивая их, в колонну в определенные моменты ее работы. Например, в начале перегонки, когда колонна заполнена головными продуктами, на верхнюю тарелку колонны подают III начальный сорт. Этот сорт, сливаясь по тарелкам, выделяет содержащиеся в нем головные продукты. На время его спуска для большего укрепления головных продуктов проводится задержка. Концевые сорта при этом методе работы вводят непосредственно в куб за несколько часов до конца отбора I сорта.

Применение метода сложных крепких навалок на практике

Метод сложных крепких навалок применяется на практике в различных более или менее отличающихся один от другого вариантах. Приводим описание одного из них.

Спирт-сырец и II начальный сорт, полученный от предыдущей сгонки, из напорного навалочного резервуара подают на зубчатую распределительную тарелку, расположенную в кубе. Одновременно через барботер подают открытый пар. Спуск навалки продолжается 40—50 мин. Когда колонна будет наполнена на $\frac{2}{3}$ ее высоты, пускают воду на дефлегматор в таком количестве, чтобы имела место задержка ($v = \infty$). Когда навалка покроет змеевики, в них пускают пар, а барботер по заполнении куба наполовину выключают. Начальный III сорт вводят в колонну после установления в ней нормального рабочего давления (1,75—2,5 м вод. ст.). Он поступает на верхнюю тарелку колонны. В момент спуска III сорта удерживают значение флегмового числа равным бесконечности. Задержка продолжается и по окончании спуска (15 мин). Колонна заполняется головными продуктами, после чего, уменьшая флегмовое число, начинают выдавать их на фонарь. Одновременно с появлением дистиллята в фонаре на верхнюю тарелку колонны начинают подавать водно-спиртовой раствор каустиче-

ской соды для химической очистки сырца. Эфир-альдегидную фракцию отбирают в количестве 1—1,5% (по объему навалки) при переработке зерно-картофельного сырца и 2—2,5% при переработке мелассного.

Момент окончания отбора устанавливают по цвету дистиллята, который к концу отбора фракции становится бесцветным.

После этого отбирают III и II начальные сорта, которые собирают отдельно, затем приступают к отбору I сорта.

Конец отбора I сорта ректификата устанавливают в зависимости от емкости куба и емкости колонны (содержания жидкости на тарелках). Обычно в кубе остается около 8% об. навалки. В дальнейшем проводят вторую навалку. Для этого прекращают обогрев аппарата паром. Давление в аппарате снижают и, если тарелки ситчатые, флегма стекает в куб. По истечении 5 мин в куб через барботер пускают пар, а из напорного чана подают новую навалку. Все дальнейшие операции: спуск III сорта, отбор альдегидов и эфиров и т. д., — проводят в той же последовательности, что и при первой навалке.

При работе на аппаратах с колпачковыми тарелками навалку спускают иногда в колонну (на десятую тарелку сверху) для промывания нижних тарелок, где скапливаются хвостовые продукты.

По окончании отбора спирта I сорта (ректификата) последней навалки приступают к отбору концевых сортов. При этом II и III сорта не разделяют, они поступают в один приемник. Сгонку заканчивают в тот момент, когда в фонаре спиртомер будет показывать нулевое содержание спирта в течение 5 мин. При отборе концевых сортов в известный момент на фонарь поступает сивушное масло, которое направляется через смеситель и пробный фонарь на маслоотделитель. Концевые сорта содержат еще некоторое количество этилового спирта. Для выделения его концевые сорта вводят в куб за несколько часов (4—6) до конца отбора I сорта при последующей сгонке. Рекомендуются концевые сорта вводить только при последней навалке, когда весь спирт будет сгоняться полностью.

Применение метода сложных навалок позволяет увеличить выход I сорта, получать концентрированные фракции головных и хвостовых продуктов с малыми потерями спирта в них. Наряду с этим понижается и расход пара. Так, по данным А. Л. Покровского, если расход пара при однократной крепкой навалке принять за 100, то при двухсложной навалке он составит 94,2, а при трехсложной — 84,8.

Дальнейшим шагом в развитии методов ректификации на кубовых аппаратах явился единый метод ректификации, разработанный во ВНИИСПе А. Л. Покровским, Г. И. Фертманом, Т. Л. Вишневской, приближающий вследствие непрерывных

наполнений работу кубового аппарата к работе непрерывно действующего аппарата [6].

По этому методу сивушное масло отбирается с нижних тарелок колонны одновременно с отбором I сорта. По окончании сгонки из куба спускают воду и вновь его наполняют. Число таких наполнений может быть произвольно большим. Химическая обработка навалки проводится на тарелках колонны, для чего на верхнюю тарелку вводится водно-спиртовой раствор каустической соды. Для проведения единого метода аппарат должен быть снабжен холодильником сивушных паров, маслоотделителем и баком для раствора каустической соды.

Единый метод ректификации на периодически действующих ректификационных аппаратах

На рис. X—5 показана схема установки, оборудованной для проведения единого метода при работе с колонной, имеющей колпачковые тарелки. Как видно из схемы, в этой установке сивушное масло отбирается из колонны аппарата. Для этого к обычному оборудованию кубовой установки добавляют холодильник сивушных паров, фонарь сивушной жидкости и маслопромыватель. Сырец вводится в куб путем инъекции острым паром.

Инжектор засасывает сырец через конусный распылитель с большим числом отверстий в паровое пространство куба. Это устройство отнюдь не обязательное, и сырец может быть введен в куб обычным способом — на зубчатую распределительную тарелку.

Работа на этой установке отличается от описанного ранее метода сложных крепких навалок тем, что здесь сивушное масло отбирают одновременно с I сортом. Эта операция выполняется следующим образом. Когда при отборе I сорта температура в кубе станет равной 90—94° С, из парового пространства первой от куба тарелки начинают отбирать пары сивушного масла. Они поступают на сепаратор V и следуют в холодильник VI, где, конденсируясь, образуют жидкость крепостью около 70% об. Сивушное масло из фонаря VII направляется в трубчатый смеситель IX, а отсюда — в маслоотделитель VIII. Нижний слой слабоградусной жидкости отводят в куб или сборник концевых сортов. Сивушное масло в маслоотделителе всплывает наверх и отводится в сборник сивушного масла через трубку с краном.

Таким образом, отбор сивушной фракции при проведении перегонки этим методом обеспечивает удаление из колонны основной массы хвостовых примесей. Лишь незначительная часть сивушного масла при этом проникает на верхние тарелки колонны. Сивушное масло последовательно отбирают через ниж-

ний, а затем через средний и верхний краны. Отбор паров прекращают, когда проба покажет содержание масла менее 10% об.

К концу отбора сивушного масла в кубе не должно оставаться спирта. Однако некоторая часть хвостовых продуктов и спирта содержится на тарелках колонны. Поэтому по оконча-

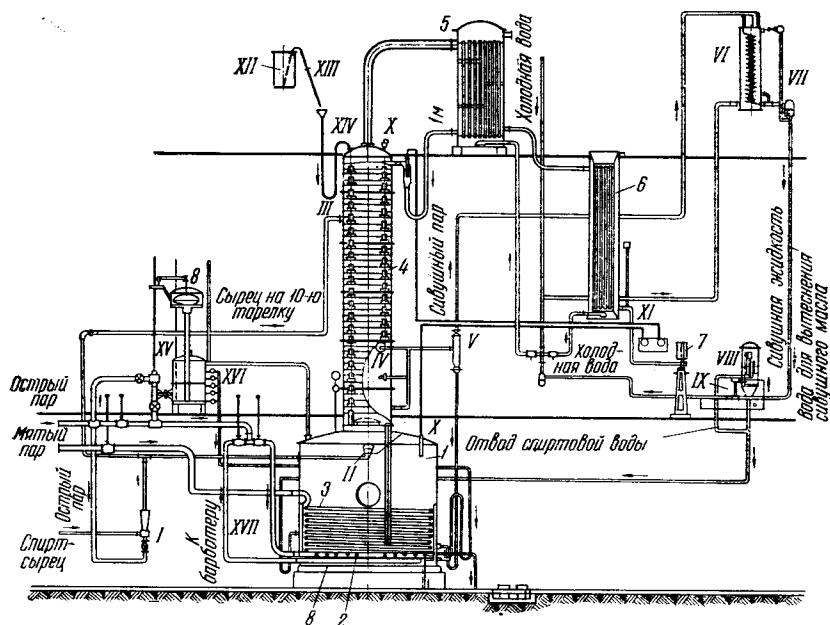


Рис. X-5. Ректификационный аппарат, оборудованный для проведения единого метода ректификации:

1 — куб, 2 — змеевик для острого пара, 3 — змеевик для мягкого пара, 4 — ректификационная колонна, 5 — дефлегматор, 6 — холодильник, 7 — сортировочный фонарь, 8 — барботер; I — паровой инжектор, II — распределитель, III — ввод спирта-сырца, IV — отбор сивушного масла паром, V — сепаратор, VI — холодильник для сивушных паров, VII — фонарь сивушной жидкости, VIII — маслоотделитель, IX — смеситель, X — масляная ванна для термометров, XI — дистанционный термометр, XII — бак для раствора каустической соды, XIII — зажим, XIV — ввод раствора каустической соды в паровое пространство верхней тарелки колонны, XV — паровой регулятор, XVI — краны для регулирования высоты давления в аппарате, XVII — трубопровод пара к барботеру.

нии отбора сивушного масла через кран, по которому оно стекает с первой тарелки, проверяют крепость спиртовой жидкости. Если показания спиртомера не более 2%, то это говорит о том, что в кубе не осталось спирта и воду из него можно спускать. Чтобы давление в колонне в это время не упало, в куб через барботер впускают острый пар, затем из куба спускают воду и приступают к навалке сырца и начального II сорта предыдущей сгонки. При колпачковых тарелках наполнение прово-

дят через десятую сверху тарелку, при ситчатых — через распылитель или тарелку с зубцами, установленные в кубе. Содержащийся в колонне спирт с остатками хвостовых примесей может быть отобран в качестве II и III концевых сортов, направляемых в общий сборник. Эти сорта перерабатывают при следующей сгонке, вводя их в куб за 4—6 ч до окончания отбора I сорта.

При проведении ректификации по единому методу химическая обработка сырца ведется водно-спиртовым раствором каустической соды, подаваемым на верхнюю тарелку колонны; сиушное масло отделяется при помощи специального прибора — маслоотделителя.

§ 4. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕЛАССНОГО И СВЕКЛОВИЧНОГО СПИРТА-СЫРЦА НА ПЕРИОДИЧЕСКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ АППАРАТАХ

При переработке на аппаратах периодического действия мелассного сырца встречаются некоторые затруднения, связанные с повышенным содержанием в сырце альдегидов, кислот и эфиров.

Опыты ректификации мелассного сырца на кубовых аппаратах проводились на Опытном заводе ВНИИСПа [1] и на Калужском ликеро-водочном заводе [7].

Особенность ректификации мелассных спиртов с повышенным содержанием эфиров и альдегидов состоит в трудности их выделения, вследствие чего некоторые из них, имеющие промежуточный характер, отгоняются в течение всего периода сгонки и, что особенно важно, — в период отбора I сорта [7]. Это хорошо видно из данных табл. X—3, в которой даны результаты анализов на содержание альдегидов, отобранных при ректификации почасовых проб [1].

Для сравнения приведено содержание альдегидов в пробах, отобранных при ректификации зерно-картофельного спирта-сырца, и при четырех опытах ректификации мелассного спирта среднего качества.

Особенности этих опытов заключались в следующем. В первом опыте работа проводилась по способу одинарных крепких навалок с предварительной обработкой спирта каустической содой. Во втором опыте сырец поступал на десятую сверху тарелку с одновременным спуском раствора каустической соды на верхнюю тарелку колонны.

В третьем опыте сырец предварительно был обработан марганцовокислым калием (2 г/дал). Ректификация проводилась по методу одинарной крепкой навалки.

В четвертом опыте, проведенном также по методу крепких навалок, спирт за полчаса до сгонки обрабатывали марганцово-

кислым калием (1 г/дал). Раствор каустической соды подавался на верхнюю тарелку колонны во время сгонки II начального и I сортов.

Сравнивая содержание альдегидов в зерно-картофельном и мелассном спиртах (см. табл. X—3), можно отметить, что выделение альдегидов в мелассных спиртах среднего качества протекает медленно, растягиваясь на продолжительное время.

Таблица X-3

Содержание альдегидов в почасовых пробах
(в % об. на безводный спирт)

Номер проб	Зерно-картофельный спирт	Мелассный спирт среднего качества			
		опыт 1	опыт 2	опыт 3	опыт 4
1	0,7	1,50	1,60	3,50	1,60
2	0,5	1,00	1,92	2,80	0,72
3	0,2	0,48	1,44	1,96	0,64
4	0,03	0,31	0,72	1,08	0,16
5	0,016	0,187	0,40	1,08	0,15
6	0,015	0,155	0,40	0,96	0,12
7	0,012	0,140	0,35	0,72	0,12
8	0,01	0,124	0,32	0,72	0,12
9	0,005	0,104	0,24	0,64	0,12
10	0,004	0,083	0,20	0,30	0,08
11	0,0035	0,083	0,18	0,18	0,08
12	0,002	0,083	0,16	0,16	0,07
13	0,001	0,041	0,10	0,16	0,04
14	0,001	0,081	0,07	0,16	0,03
15	0,00075	0,0124	0,08	0,12	0,03
16	0,0005	0,0114	0,06	0,06	0,015
17	0,0005	0,00114	0,05	0,06	0,015
18	0,0005	0,0065	0,06	0,03	0,015
19	Следы	0,0035	0,04	0,03	0,01
20	Следы	0,003	0,025	0,03	0,01
21	Нет	0,002	0,015	0,02	0,01
22	Следы	0,0015	0,01	0,02	0,008
23	Следы	0,002	0,0035	0,01	0,007
24	0,0005	0,002	0,0015	0,006	0,004
25	—	0,002	0,0015	0,003	0,001
26	—	0,001	0,001	0,002	0,001
27	—	—	0,001	0,002	0,001
28	—	—	0,001	0,0024	0,001
29	—	—	0,0015	0,0025	0,0015
30	—	—	0,0015	0,0025	0,0005
31	—	—	0,001	0,002	0,00075
32	—	—	0,002	0,0015	0,0005

Перевод на I сорт мог быть сделан только на 19—25-м часу сгонки, тогда как для зерно-картофельного сырца уже на 12-м часу содержание альдегидов составляло 0,002% об. Но и после

перевода на I сорт наблюдается только небольшое снижение содержания альдегидов в пробах.

Сравнение результатов опытов, т. е. качества ректификата, выход его и производительность аппарата дали авторам исследования [1] возможность утверждать, что наиболее целесообразным методом ректификации мелассного спирта среднего качества является комбинированный метод, при котором за время начала сгонки начальных и первого сортов пропускается раствор каустической соды на верхнюю тарелку колонны, а сырец подается на 10-ю тарелку.

Авторы отмечают также опасность применения избыточного количества марганцовокислого калия при предварительной химической обработке сырца. В частности этим они объясняют обилие альдегидов в третьем опыте. По-видимому, избыток окислителя повлек за собой образование альдегидов за счет окисления спирта.

Обратимся теперь к работе [7], проведенной на Калужском ликеро-водочном заводе. При переработке мелассного спирта среднего (табл. X—4) качества с содержанием альдегидов 0,12% об., кислот 80 мг/л и эфиров 320 мг/л авторы предложили аналогичный метод, который сводился к следующему. Аппарат прогревали открытым паром через барботер до установления необходимого давления, после чего в колонну через 5-ю или 10-ю (сверху) тарелку вводили сырец. Скорость подачи сырца составляла 1,2—1,3 скорости отбора I сорта. При этих условиях сырец, стекая по тарелкам колонны, полностью освобождался от альдегидов, прежде чем он поступал в куб.

Отбор эфиров и III начального сорта вели с момента начала загрузки аппарата со скоростью, равной $\frac{1}{10}$ скорости отбора I сорта. Когда жидкость в кубе перекрывала змеевик, барботер отключали и обогрев вели глухим паром. По окончании загрузки аппарата отбор головных и промежуточных сортов продолжали еще 40—60 мин, после чего переходили на отбор II начального сорта. Данные опыта приведены в табл. X—4.

Т а б л и ц а X-4

Показатели режима ректификации

Время от начала сгонки, ч	Продукт	Отбор	
		дал безводного спирта	% об. от навалки
20	Э. а. ф. и III начальный сорт	201	9,0
22,5	II начальный сорт	168	2,5
42	Спирт I сорта	2700	83,0
44,5	Концевые сорта и потери	91	2,8

Следует отметить, что спирт-сырец предварительно обрабатывали каустической содой и марганцовокислым калием. Половину от рассчитанного количества щелочи задавали на верхнюю тарелку колонны в виде 10%-ного раствора. Однако авторы указывают, что обработка окислителем не обязательна.

В результате примененного способа обработки был получен ректификат, удовлетворяющий требованиям стандарта.

Авторы справедливо отмечают, что примененный ими метод является ни чем иным, как эспирацией, проводимой по тому же способу, что и в непрерывно действующих аппаратах.

Представляет также интерес ректификация на периодически действующих аппаратах спирта-сырца, полученного при переработке свеклы или свеклы с картофелем и зерном. Этот сырец содержит значительное количество метанола, трудно выделяемого на периодически действующих аппаратах.

Приводим состав сырца в зависимости от соотношения в сырье свеклы, зерна и картофеля (табл. X—5) [8].

Таблица X-5
Характеристика спирта-сырца, полученного из свеклы

Показатели спирта-сырца	Состав сырца, %					
	картофель	20	—	50	—	—
	свекла	—	50	50	80	99
	зерно	80	50	—	20	1
Крепость, % об.	90,7	93,2	88,8	89,5	88,3	
Кислоты, мг/л	18,0	9,8	—	52,0	81,0	
Эфиры, мг/л	220	160,6	440	271,0	260,0	
Альдегиды, % об.	0,008	0,002	0,02	0,02	0,0065	
Метанол, % об.	0,13	0,22	0,26	0,28	0,3	
Сивушное масло, % об. . .	0,45	0,5	0,5	1,0	1,5	

В данных табл. X—5 обращает на себя внимание повышенное содержание в сырце сивушного масла и метанола.

Как показал производственный опыт, выделение сивушного масла на периодически действующих аппаратах не представляет затруднений. Выделение же метанола, содержащегося в количестве до 1,5% об., затрудняет ректификацию и не позволяет получить стандартный ректификат.

ВНИИСПом [8] для этого случая был разработан режим ректификации, позволяющий получить выход ректифицированного спирта 93—94%. Режим этот, как и в случае переработки мелассного спирта-сырца с большим содержанием альдегидов, основан на пропуске навалки через колонну. В данном случае через колонну пропускается II начальный сорт. Сгонка проводится в следующем порядке. Спирт-сырец загружается в куб без разбавления. После нагрева аппарата и появления спирта

в фанаре проводится часовая задержка. С начала задержки II начальный сорт подается на 10-ю (сверху) тарелку. По окончании ее отбирают э. а. ф. в объеме 3—5% от навалки.

Перед переходом на отбор II начального сорта в куб задается раствор щелочи.

II начальный сорт отбирают в объеме 6—7% от навалки, если в исходном сырье содержится 0,13—0,18% об. метанола. Если же содержание метанола выше (0,2—0,3%), то II начальный сорт отбирают в количестве 14—20%.

Перевод на отбор I сорта определяется по пробе на альдегиды и метанол.

§ 5. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КУБОВОГО АППАРАТА

Работа кубового аппарата по методу непрерывных наполнений складывается из многократно повторяющихся циклов, в каждом из которых выполняются одни и те же операции. Поэтому для составления материального и теплового баланса следует взять один из циклов и провести для него все расчеты.

В течение каждого цикла в аппарат поступают спирт-сырец и оборотные сорта спирта, т. е. те фракции, которые были отобраны в предыдущем цикле. К этим оборотным сортам относятся головные и концевые фракции. В течение каждого цикла из аппарата отбирается I сорт, оборотные сорта (головные и концевые), фракции эфиров и альдегидов и сивушное масло.

На основании данных практики можно составить типовой материальный баланс кубового аппарата по безводному спирту.

Пример 9

Примерный материальный баланс, % об.

Расход		Приход	
1. Уходит со спиртом I сорта .	92	1. Приходит со спиртом-сырцом .	95
2. Уходит с э. а. ф.	2	2. Приходит с оборотными сортами	5
3. Уходит с сивушным маслом .	0,4		
4. Уходит с оборотными сортами	5		
5. Потери	0,6		
		Итого . . .	100
	100		

Если задаться на основании данных практики крепостью продуктов, то можно составить материальный и тепловой балансы для аппарата определенной производительности. Данные о крепости продуктов приведены в табл. X—6.

Составление материального и теплового баланса приведено для конкретного случая (пример 10).

Пример 10. Составить материальный и тепловой баланс для кубового аппарата производительностью 1000 дал безводного спирта в сутки. Сырец, поступающий на перегонку, имеет крепость 88% об., или 83,19% мас. Выход продуктов и крепость их принять в соответствии с примером 9 и данными табл. X—6. Греющий пар сухой, насыщенный, давление 1,3 бар.

Крепость продуктов перегонки

Таблица X—6

Продукты	Крепость		Относительная плотность при 15 °С
	% об.	% мас.	
Спирт-ректификат	95,2	93,18	0,814
Эфиры и альдегиды	92,2	88,64	0,826
Сивушное масло	88,0	88,17	0,841
Оборотные продукты	93,0	89,71	0,824

Материальный баланс. Для составления материального и теплового балансов заключим в «коробку» куб и колонку, как это показано на рис. X—6.

Из безводного спирта, поступающего в куб, 92% уходит в ректификат I сорта. Следовательно, в навалке должно содержаться $\frac{1000 \cdot 100}{92}$

=1087 дал в сутки безводного спирта.

Из 1087 дал безводного спирта, поступающего с навалкой, 95% содержится в сырце, а 5% приходят с оборотными сортами. Следовательно, сырец содержит $\frac{1087 \cdot 95}{100} = 1032,7$ дал

безводного спирта, а оборотные сорта приносят $1087 - 1032,7 = 54,3$ дал/сутки.

Количество сырца за сутки составит

$$\frac{1032,7}{88} \cdot 100 = 1175 \text{ дал.}$$

или

$$1175 \cdot 10 \cdot 0,8405 = 9900 \text{ кг.}$$

Количество оборотных продуктов за сутки

$$\frac{54,3}{93} \cdot 100 = 58,2 \text{ дал.}$$

или

$$58,2 \cdot 10 \cdot 0,824 = 480 \text{ кг.}$$

Количество безводного спирта в эфиро-альдегидной фракции составляет

$$\frac{2 \cdot 1087}{100} = 21,75 \text{ дал/сутки.}$$

Массовое количество эфиров и альдегидов составляет

$$\frac{21,75 \cdot 10 \cdot 100}{92,2} \cdot 0,826 = 195 \text{ кг/сутки}$$

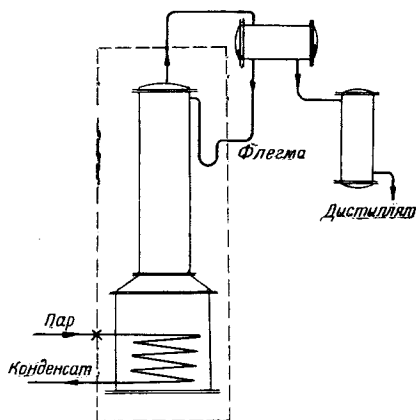


Рис. X-6. Схема к расчету аппарата периодического действия.

Аналогично находим для сивушного масла:
количество алкоголя

$$\frac{0,4 \cdot 1087}{100} = 4,35 \text{ дал/сутки},$$

или

$$\frac{4,35 \cdot 10 \cdot 100}{88} 0,841 = 41,7 \text{ кг/сутки}$$

Наконец, потери безводного спирта составят

$$\frac{0,6 \cdot 1087}{100} = 6,6 \text{ дал/сутки}.$$

Все расчеты сведены в табл. X—7

Таблица X-7

Материальный баланс кубового аппарата
(составлен без учета паров, образующих флегму, флегмы, возвращающейся в колонну, греющего пара и его конденсата)

Продукт	Массовое количество продуктов, кг/сутки	Объемное количество алкоголя в нем, дал/сутки
Приход		
Сырец	9900	1032,7
Оборотные продукты	480	54,3
Всего . . .	10 380	1087,0
Расход		
Спирт I сорта	8875	1000
Эфиры и альдегиды	195	21,75
Оборотные продукты	480	54,3
Сивушное масло	41,7	4,35
Потери	—	6,6
Вода (по разнице)	788,3	—
Всего . . .	10 380	1087,0

На основании материального баланса (табл. X—7) составляется тепловой баланс аппарата. При составлении его потребуются знать флегмовое число, при котором работает аппарат. Как известно, флегмовое число периодически действующего аппарата является величиной переменной. Поэтому для расчета необходимо взять среднее флегмовое число за все время одного цикла. Оно будет изменяться в широких пределах, в зависимости от числа тарелок в аппарате и крепости ректификата. Для современного аппарата, колонна которого имеет не менее 46 тарелок, при получении стандартного спирта можно принять среднее флегмовое число равным 2,7. В этом случае в приходную часть материального баланса нужно включить жидкую флегму

в количестве vD , где D — количество продуктов, отбираемых за сутки, равное сумме всех фракций, отбираемых через холодильник, т. е.

$$D = 8875 + 195 + 480 = 9550 \text{ кг/сутки},$$

откуда

$$vD = 2,7 \cdot 9550 = 25\,000 \text{ кг/сутки}$$

Такое же массовое количество паров, образующих флегму, должно быть показано в расходной части материального баланса. Крепость флегмы принимаем равной крепости I сорта.

В таблице материального баланса не показаны также греющий пар и его конденсат. Часть греющего пара будет поступать через барботер. Открытый

Таблица X-8

Тепловой баланс кубового аппарата

Продукты	$c, \text{ ккал/(кг} \cdot \text{град)}$	$t, ^\circ\text{C}$	$i, \text{ ккал/кг (для паров)}$	Расчет	Итого, ккал/сутки
Приход					
Сырец	0,9	10	—	$9900 \cdot 0,9 \cdot 10$	89 100
Оборотные продукты . .	0,7	20	—	$480 \cdot 0,7 \cdot 20$	6 700
Жидкая флегма	0,87	78,3	—	$2588 \cdot 0,87 \cdot 78,3$	1 760 000
Греющий пар	—	106,56	641,2	$G \cdot 641,2$	$G \cdot 641,2$
Всего	—	—	—	—	$1\,855\,800 + G \cdot 641,2$
Расход					
Спирт I сорта (пары) . .	—	78,3	342	$8875 \cdot 342$	3 040 000
Оборотные продукты (пары)	0,89	78,6	315	$480 \cdot 315$	151 000
Эфиры и альдегиды (пары)	0,89	78,8	315	$195 \cdot 315$	61 500
Сивушное масло (пары) . .	0,9	79,3	339	$41,7 \cdot 339$	14 100
Вода	1	101,8*	—	$788,3 \cdot 101,8$	80 000
Пары, образующие флегму	—	78,3	342	$25\,800 \cdot 342$	8 825 000
Конденсат уходящий с кубовой водой	1	101,8	—	$775 \cdot 101,8 \cdot 1$	79 000
вода, уходящая через конденсационный горшок	1	90**	—	$G \cdot 90$	$G \cdot 90$
Всего	—	—	—	—	$12\,250\,600 + G \cdot 90$

* Давление в кубе принято равным 1,1 бар.

** Средняя температура конденсата принята равной 90 °C.

пар подается только в начале наполнения куба навалкой. Примем, что открытым паром нагревается до $\frac{2}{3}$ навалки, т. е. $(9900 + 480) \frac{2}{3} = 7000 \text{ кг/сутки}$.
Примем среднюю температуру навалки 10°C . Тогда расход открытого пара будет равен

$$P = \frac{7000 (79,3 - 10)}{(641,2 - 79,3)} \cdot 0,9 = 775 \text{ кг/сутки},$$

где $0,9$ — средняя удельная теплоемкость сырца;
 $i = 641,2 \text{ ккал/кг}$ — теплосодержание греющего пара при $p = 1,3 \text{ бар}$;
 $79,3$ — температура кипения сырца, $^\circ \text{C}$.

Считаем, что в дальнейшем пар через барботер не поступает, а нагрев ведется через нагревательные элементы. Общий расход пара будет найден из теплового баланса (табл. X—8).

Принимаем потери тепла в окружающее пространство равными $2,5\%$ от полезно затраченного тепла.

Тогда

$$(12\,250\,600 - 1\,855\,800) 1,025 = G (641,2 - 90).$$

Отсюда находим суточный расход пара

$$G = \frac{10\,394\,800 \cdot 1,025}{551,2} = 19\,200 \text{ кг/сутки},$$

или $19,2 \text{ кг}$ пара на 1 дал безводного спирта.

Определение основных размеров кубового аппарата

Для определения основных размеров куба периодически действующего аппарата необходимо задаться продолжительностью одного цикла. Чем большей будет выбрана продолжительность цикла, тем больше будет объем куба, так как он должен вместить навалку, соответствующую производительности аппарата за время, равное продолжительности цикла. Так, в нашем примере, если взять продолжительность, равную 2 суткам, то куб должен вместить $(10\,380 \times 2) \text{ кг}$ навалки. С точки зрения организации работы, наиболее удобным будет принять продолжительность цикла, равной 24 ч. В этом случае куб должен вмещать навалку, соответствующую суточной производительности. При определении размера куба принимают, что его полезный объем составляет $0,8$ от полного объема цилиндрической части. Отношение высоты H к диаметру D принимается равным $1:1,1$.

Пример 11. Определить объем и размеры куба для аппарата производительностью 1000 дал безводного спирта в сутки. Выход продуктов принять по примеру 10. Объем навалки будет равен объему сырца и оборотных сортов. Он равен

$$V = \frac{9900}{0,8405} + \frac{480}{0,824} = 12,4 \text{ м}^3.$$

Объем цилиндрической части при коэффициенте использования $0,8$ будет равен $12,4 : 0,8 = 15,5 \text{ м}^3$.

Примем $H:D=1$. Тогда H определится из уравнения

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H,$$

откуда

$$H = \sqrt[3]{\frac{V \cdot 4}{\pi}};$$

$$H = D = 2,7 \text{ м.}$$

Высоту конической переходной части куба принимаем равной 0,4 м. Тогда общая высота куба будет равной $2,7+0,4=3,1$ м.

Колонна. Число тарелок принимается в соответствии с принятым флегмовым числом. Ниже приведены рекомендуемые числа тарелок в зависимости от среднего флегмового числа.

Выбор числа тарелок ректификационного аппарата периодического действия при стандартном ректификате

Среднее флегмовое число	Число тарелок	Среднее флегмовое число	Число тарелок
2,5	52	3	42
2,7	46	4	38

На основании этих данных выбираем число тарелок. Расстояние между тарелками принимается от 140 до 220 мм. Рекомендуется 170 мм, так как при этом расстоянии скорость в свободном сечении по уравнению (VI—13) будет равна (при $z=25$ мм) 0,4 м/сек. Скорость в отверстиях сит принимается равной $4 \div 5$ м/сек.

Пример 12. Определить диаметр колонны в соответствии с заданием примера 10. Расчет можно вести для максимальной скорости сгонки. Такой период будет во время отбора I сорта. Если принять, что время отбора I сорта составляет 70% от всей продолжительности сгонки, то максимальное часовое количество паров дистиллята и флегмы, которое поднимается в колонне, будет равно

$$G = \frac{8875 (1 + 2,7)}{24 \cdot 0,7} = 1950 \text{ кг/ч.}$$

Объем этих паров при давлении 1 ата (10330 кг/м²), температуре 78,3°С и крепости 95,18% мас. найдем по уравнению $PV=GRT$. Здесь V дано в м³/ч. Газовая постоянная $R = \frac{22,4 \cdot 10330}{273 \text{ М}}$,

где M — средняя молекулярная масса паров. При крепости 95,18% мас.

$$M = \frac{95,18 \cdot 46 + 4,82 \cdot 18}{100} = 44,5 \text{ и } R = 19.$$

Отсюда в нашем примере

$$V = \frac{1950 \cdot 19 (273 + 78,3)}{3600 \cdot 10330} = 0,354 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Найдем диаметр колонны при скорости паров 0,4 м/сек:

$$0,354 = \frac{3,14 D^2}{4} 0,4;$$

$$D \approx 1,07 \text{ м} = 1070 \text{ мм.}$$

Определение поверхности нагревательных элементов дефлегматора и холодильника

Для определения поверхности нагрева кубовых кипятильников или змеевиков необходимо определить их максимальную тепловую нагрузку. Периодом максимальной нагрузки будет, как сказано выше, период отбора I сорта. В этот период испаряется максимальное количество паров, которые образуются в кубе. Выше, в примере 12, было показано, как определяется максимальное часовое количество паров, поднимающихся в колонне. Это пары, образующиеся за счет тепла, переданного через поверхность кипятильников куба. Поэтому, если мы определим скрытую температуру испарения этих паров, то получим максимальную тепловую нагрузку кубовых кипятильников.

Пример 13. Определить поверхность нагрева нагревательных элементов куба для аппарата суточной производительностью 1000 дал безводного спирта. Все необходимые данные взяты из предыдущих примеров.

Максимальная тепловая нагрузка будет равна

$$1950 \cdot 231,5 = 450\,000 \text{ ккал/ч,}$$

где 231,5 — скрытая теплота испарения ректификаата.

Коэффициент теплопередачи для кипящей жидкости в кубе найдем из уравнения:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град).}$$

Считая для кипящей навалки $\alpha_1 = 2000 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$, для конденсирующегося пара $\alpha_2 = 10\,000 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$, $\delta = 0,003 \text{ м}$ и λ для стали $40 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$, имеем $K = 1470 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$.

Приняв давление греющего пара равным 1,3 бар, имеем температуру его, равной $106,6^\circ \text{C}$. Температуру кипящей жидкости возьмем для наиболее неблагоприятного момента — конца сгонки I сорта, когда крепость спирта в кубе невелика. Примем ее равной 10% об. Тогда температура кипения будет $92,6^\circ \text{C}$. Разность температур будет $106,6 - 92,6 = 14,0 \text{ град}$.

Поверхность нагрева

$$F = \frac{450\,000}{14,0 \cdot 1470} \approx 22 \text{ м}^2.$$

Поверхность охлаждения дефлегматора и холодильника находятся также для периода наибольшей его тепловой нагрузки, т. е. для периода отбора спирта I сорта. Способ определения максимальной часовой нагрузки ясен из предыдущего.

Если обозначить количество паров флегмы, поступающих в дефлегматор за один цикл, через Φ , а продолжительность отбора I сорта принять равной 0,8 от всей продолжительности цикла, то

$$Q_d = \frac{\Phi r}{24 \cdot 0,8} \text{ ккал/ч,}$$

где r — скрытая теплота конденсации флегмы.

Аналогично для холодильника

$$Q_x = \frac{Dr + D(t_D - t_k)}{24 \cdot 0,7} \text{ ккал/ч,}$$

где D — количество ректификата за цикл;

t_D — температура пара, поступающего в холодильник, равная температуре кипения ректификата;

t_K — конечная температура ректификата.

Имея значения Q_d и Q_k , находим поверхности теплопередачи дефлегматора и холодильника.

§ 6. НОРМЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КУБОВЫХ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Расчет производительности ректификационных аппаратов периодического действия производится по следующим формулам [9].

Суточная производительность кубового ректификационного аппарата, работающего по способу непрерывных наполнений, для зерно-картофельного спирта-сырца.

$$M = 1,1 (KF \pm 1,5n) K_1 K_2 \text{ дал/сутки.} \quad (X-1)$$

Для мелассного спирта-сырца

$$M = (KF \pm 1,5n) K_1 K_2 \text{ дал/сутки,} \quad (X-2)$$

где n — недостаток или избыток числа тарелок против числа 42;

F — площадь поперечного сечения колонны, m^2 ;

K — величина съема спирта с 1 m^2 колонны (в дал безводного спирта в ч) берется в зависимости от типа тарелок и сечения колонны.

Значение коэффициента K находим по табл. X—9.

Т а б л и ц а X-9
Значения K

Ситчатые тарелки		Колпачковые тарелки	
F колонны, m^2	K	F колонны, m^2	K
До 0,35	90	До 0,35	80
» 0,50	85	» 0,50	75
» 0,70	80	» 0,70	70
» 0,90	75	» 0,90	65
» 1,25 и больше	70	» 1,25	60

K_1 — коэффициент, зависящий от размеров поверхности теплообмена дефлегматора, приходящейся на 1 дал производительности аппарата в час.

Значение коэффициента K_1 находится по табл. X—10.

K_2 — число часов отбора I сорта ректифицированного спирта в течение суток, принимается по табл. X—11.

В первой графе табл. X—11 указана продолжительность одного цикла. K . п. д. — коэффициент полезного действия, т. е.

Таблица X-10

Значения K_1

Поверхность дефлегматора, м ² на дал/ч	K_1	Поверхность дефлегматора, м ² на дал/ч	K_1
0,3 и меньше	0,5	0,6	1,0
0,4	0,66	0,65	1,04
0,45	0,75	0,7	1,08
0,5	0,833	0,75	1,12
0,55	0,92	0,9 и больше	1,18

Таблица X-11

Значения K_2

Число часов, затраченное на перегонку навалки	К. п. д. аппарата	K_2
20	0,625	15
25	0,65	15,6
30	0,68	16,3
35	0,71	17
40	0,75	18

доля, которую составляет продолжительность отбора I сорта от общей продолжительности цикла.

Пример 14. Площадь сечения колонны $F=1,1$ м². Колонна имеет 46 ситчатых тарелок. Поверхность дефлегматора 50 м², продолжительность цикла 30 ч. К. п. д. равен 0,68. Определить производительность для мелассного сыра.

Сначала найдем ориентировочно часовую производительность аппарата. Она будет равна

$$M_{\text{ч}} = KF + (46 - 42) 1,5 = 70 \cdot 1,1 + 4 \cdot 1,5 = 83 \text{ дал/ч.}$$

Теперь вычислим поверхность дефлегматора, приходящуюся на 1 дал/ч. Она равна $50 : 83 = 0,6$.

Отсюда $K_1=1$. Находим M .

$$M = (70 \cdot 1,1 + 4 \cdot 1,5) 1 \cdot 16,3 = 1350 \text{ дал/сутки.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Фертман Г. И., Покровский А. Л., Вишневская Т. Л. «Спиртоводочная промышленность», 1940, № 3.
2. Фертман Г. И. Ректификационные и брагоректификационные аппараты. Пищепромиздат, 1956.
3. Стабников В. Н., Попов В. Д., Редько Ф. А., Лысянский В. М. Процессы и аппараты пищевых производств. Пищепромиздат, 1966.
4. Киров А. А. Аппараты для ректификации спирта. Пищепромиздат, 1940.
5. Калунянц К. А. Труды ЦНИИСПа. Вып. XI, 1961.
6. Фертман Г. И. Сб. «Новое в науке и технике спиртового производства». ВНИТО, 1940.
7. Грязнов В. П., Соколов Б. И. «Спиртовая промышленность», 1957, № 2.
8. Грязнов В. П., Пахалов А. П., Ржечицкая Г. В. «Спиртовая промышленность», 1959, № 6.
9. Инструкция по определению и учету производственных мощностей ликероводочных заводов, утвержденная Госпланом СССР 28 ноября 1959 г.